

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-227935

(43)Date of publication of application : 25.08.1998

(51)Int.Cl. G02B 6/126  
G02B 6/12

(21)Application number : 09-044777

(71)Applicant : NIPPON TELEGR &amp; TELEPH CORP &lt;NTT&gt;

(22)Date of filing : 13.02.1997

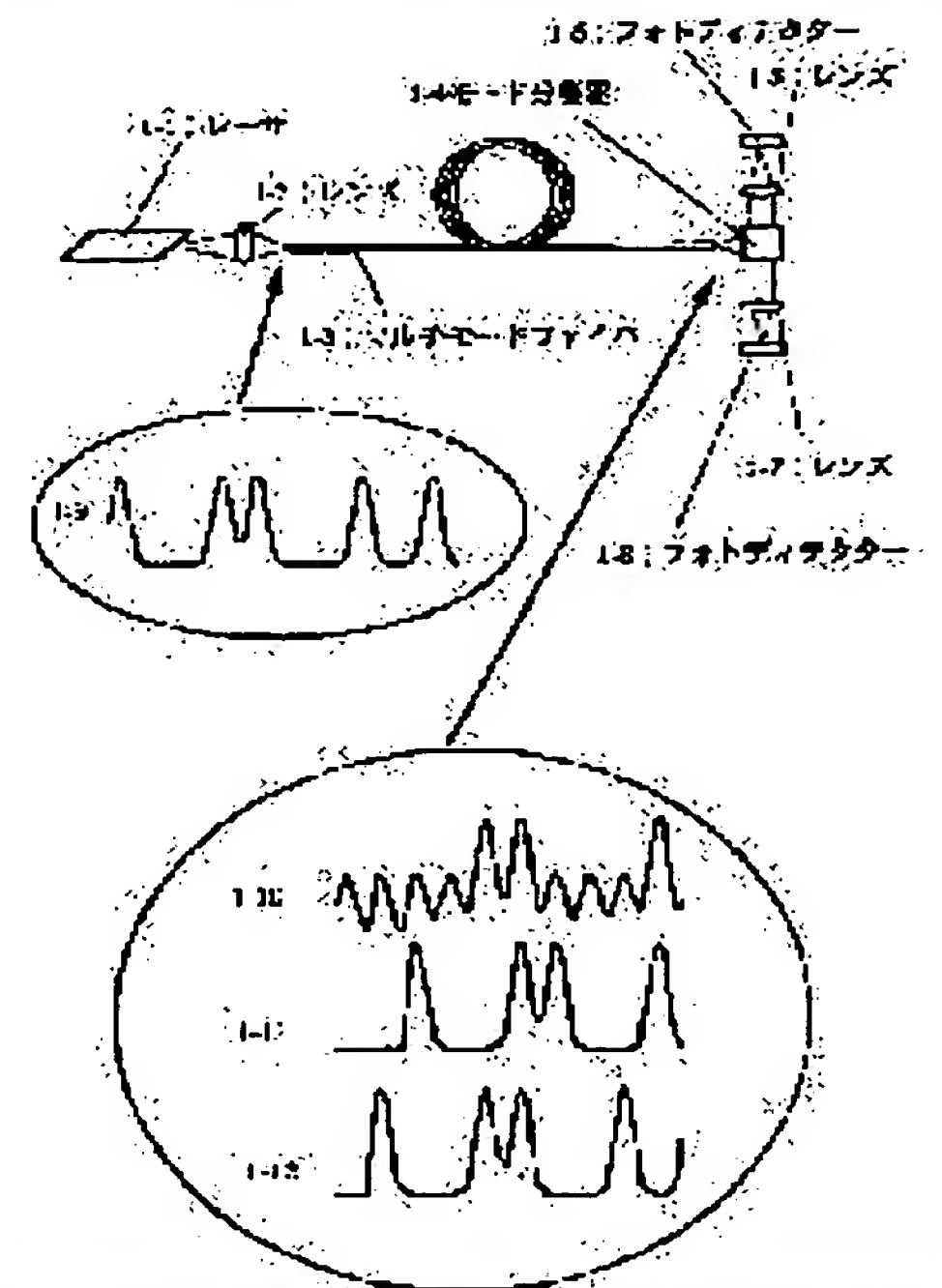
(72)Inventor : YAGI IKUTAKE  
IMAI YOSHIYUKI  
OZAWAGUCHI HARUKI

## (54) MODE SEPARATOR FOR MULTIMODE OPTICAL WAVEGUIDE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a communication speed similar to that of a single-mode fiber by using an inexpensive multimode fiber by arranging a specific hologram element at the photodetection-side exit of the multimode optical waveguide.

**SOLUTION:** At the photodetection-side exit of the multimode optical waveguide which propagates the projection light from a laser used for optical communication, the hologram element is arranged which diffracts only light in specific propagation mode of the optical waveguide, and the travel direction of only the light in propagation mode is changed. Namely, the light 1-9 having its intensity modulated is coupled with the multimode fiber 1-3 from the laser 1-1 through a lens 1-2. When the distance of the fiber is long and signal modulation is fast, the output signal from the fiber is distorted because of repetition of modes. When, however, a mode separator 1-4 is used, an LP01 mode is diffracted upward and an LP11 mode is diffracted as a plane wave, so that the two mode can be separated and photodetected by using lenses 1-5 and 1-7 and photodetectors 1-6 and 1-8 respectively.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-227935

(43)公開日 平成10年(1998) 8 月25日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 6/126  
6/12

G 0 2 B 6/12

E  
N

審査請求 未請求 請求項の数6 F D (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平9-44777

(22)出願日 平成9年(1997) 2 月13日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72)発明者 八木 生剛

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 今井 欽之

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 小澤口 治樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 雨宮 正季

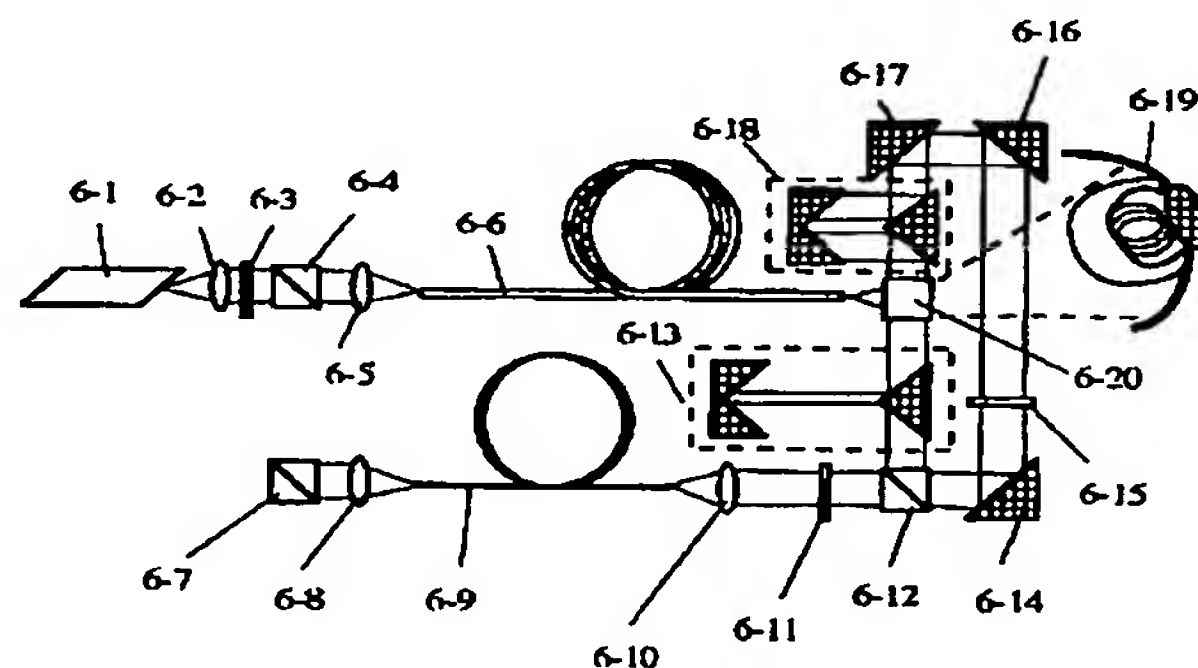
(54)【発明の名称】 マルチモード光導波路用モード分離器

(57)【要約】

【課題】 マルチファイバ中を伝搬している間に進行方向に拡がってしまい、前後のパルスと重なってしまうために、光の強度変調を測る従来の方式では高速の通信は出来なかったのを解決する。

【解決手段】 光通信に用いるレーザ1-1からの出射光を伝搬するマルチモード光導波路1-3の受光側出口に前記光導波路の特定の伝搬モードの光のみを回折するホログラム素子1-4を配置し、前記伝搬モードの光のみ進行方向を変化させる。

【効果】 マルチモードを導波してきた光の中から所望のモードを取り出すことが出来るので、安価で接続の容易なマルチモードファイバを用いてもシングルモードファイバと同等の通信速度を得られるという効果がある。



6-1、6-2、6-5、6-8、6-10；レーザ  
6-2、6-5、6-8、6-10；レンズ  
6-3、6-11、6-15；半波長板  
6-4、6-12；偏光ビームスプリッター  
6-7、6-14、6-16、6-17；ミラー  
6-6；マルチモード光ファイバ  
6-9；シングルモード光ファイバ  
6-13、6-14；光路長調整用ミラーセット  
6-19；遠赤外線ランプ  
6-20；モード分離器本体

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光通信に用いるレーザからの出射光を伝搬するマルチモード光導波路の受光側出口に前記光導波路の特定の伝搬モードの光のみを回折するホログラム素子を配置し、前記伝搬モードの光のみ進行方向を変化させることを特徴とするマルチモード光導波路用モード分離器。

【請求項2】前記伝搬モードが複数個あり、前記ホログラム素子は、各々の伝搬モードの光をそれぞれ異なる方向に同時に回折することを特徴とする請求項1記載のマルチモード光導波路用モード分離器。

【請求項3】前記ホログラム素子に、光の干渉縞を屈折率変調分布として記録したフォトリフラクティブ材料を用いることを特徴とする請求項1および2記載のマルチモード光導波路用モード分離器。

【請求項4】前記屈折率変調分布の形成を、前記マルチモード導波路の各伝搬モードの光と、前記光通信に用いるレーザから出射する前記各伝搬モードに対応させた複数の各光とをそれぞれ前記フォトリフラクティブ材料に入射させ、干渉させることにより生じた干渉縞を記録することにより行うことを特徴とする請求項3記載のマルチモード光導波路用モード分離器。

【請求項5】前記フォトリフラクティブ材料にニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ )、ニオブ酸タンタル酸カリウム ( $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ )、ニオブ酸ストロンチウムバリウム ( $\text{SrxBa}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ )、タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ )、チタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ ) のいずれかを用い、前記屈折率変調分布を保持することを特徴とする請求項3および4記載のマルチモード光導波路用モード分離器。

【請求項6】前記屈折率変調分布の保持を、前記屈折率変調分布の形成時に、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ )、ニオブ酸タンタル酸カリウム ( $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ )、ニオブ酸ストロンチウムバリウム ( $\text{SrxBa}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ )、タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ )、チタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ ) の温度を上昇させることにより行うことを特徴とする請求項5記載のマルチモード光導波路用モード分離器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明はマルチモード光導波路用モード分離器、さらに詳細には光ファイバを用いた光通信分野で利用し、特に、安価であるが通信速度がシングルモードファイバ使用時に較べて遅い、マルチモードファイバを利用する際に、通信速度を向上させる目的で使用するマルチモード光導波路用モード分離器に関する。

## 【0002】

【従来の技術および問題点】マルチモードファイバは、シングルモードファイバに較べて安価ではあるが、通信速度が遅い。これは、マルチモードファイバ中の各々の

光伝搬モード間で光の伝搬速度が異なる事に起因する。マルチモードファイバに入射された光は、ファイバ中では複数個のモードに分解され、各々のモードの進行速度で伝搬する。従って、ある時刻にファイバに入射した光パルスは、ファイバ中を伝搬している間に進行方向に拡がってしまい、前後のパルスと重なってしまうために、光の強度変調を測る従来の方式では高速の通信は出来なかった。

## 【0003】

【問題点を解決する為の手段】上記問題点を解決するため、本発明によるマルチモード光導波路用モード分離器は、光通信に用いるレーザからの出射光を伝搬するマルチモード光導波路の受光側出口に前記光導波路の特定の伝搬モードの光のみを回折するホログラム素子を配置し、前記伝搬モードの光のみ進行方向を変化させることを特徴とする。

【0004】すなわち、上記問題点を解決するためには受信側で各々の伝搬モードを分離して強度変調を測れば良い。まず、モードの分離の為にホログラム素子を用いる。以下にモード分離の原理を述べる。

【0005】図2はマルチモードファイバを伝搬し出射する各モードの模式図と座標軸の説明図である。コア(2-1)、クラッド(2-2)を有するマルチモードファイバMの各伝搬モードの光の電場ベクトルを、 $\rightarrow E_\alpha = (E_{x\alpha}, E_{y\alpha}, E_{z\alpha})$  で表す。ここで、ギリシャ文字の添字( $\alpha$ )はモードを区別するための添字で、ローマ字の添字( $x, y, z$ )はベクトルの成分を示す。すなわちファイバ中の伝搬モードを  $E_\alpha, E_\beta, E_\gamma$  で、それらが出射した光を  $F_\alpha, F_\beta, F_\gamma$  で表した。モードの数は、ファイバの規格化周波数に依存する。また、表記上の問題より、上記「 $\rightarrow$ 文字」は下記の数1のような表記を示している(以下同じ)。

## 【0006】

## 【数1a】

文字

【0007】説明のため、光の進行方向、即ちファイバの軸は  $z$  方向であるとする(出射端近傍におけるファイバの軸を  $z$  軸とする)。各モードのベクトルの成分は、空間と時間の関数である。ここで、各々のモードは  $xy$  面内で同じ束縛条件を持つ偏微分方程式の解を表す固有モードであるから、 $xy$  面内で直交する[ここで、“ $xy$  面内で直交する”とは、ふたつの関数、 $\psi$  と  $\phi$  が、

## 【0008】

## 【数1b】

$$\langle \psi | \phi \rangle = \iint \psi^* \phi dx dy = 0$$

【0009】(積分範囲は  $x, y$  共に  $-\infty$  から  $\infty$  まで)を満たす事を意味する。 $\psi^*$  は、 $\psi$  の複共役]。即ち、 $\langle E_{m\alpha} | E_{n\beta} \rangle = A_{m\alpha} \delta_{mn} \delta_{\alpha\beta}$  である(ここで、 $\delta$  はクロネッカーのデルタ、 $A$  は定数である)。

【0010】また、ファイバの端面から出射した光の電場振幅 ( $F_{\alpha}(x, y, z, t)$ ) も、フレネル回折の近似範囲において、 $xy$  面内で直交する。即ち、 $\langle F_{\alpha} | F_{\beta} \rangle = B_{\alpha} \delta_{\alpha\beta}$  となる。(Bは定数)。ここで、特定の導波モード  $\alpha$  のファイバ端面から出射した光(電場ベクトル:  $\rightarrow F_{\alpha}$ 、波数ベクトル:  $\rightarrow K_{\alpha}$ ) と、同じレーザから発射された任意の光(電場ベクトル:  $\rightarrow P$ 、波数ベクトル:  $\rightarrow K_P$ ) を干渉させ、その干渉縞をフォトリフラクティブ材料などの干渉縞を記録できる材料中に記録する。干渉縞の明暗コントラストは、 $\rightarrow F_{\alpha} \cdot \rightarrow P + \rightarrow F_{\alpha} \cdot \rightarrow P^*$  に比例するが、屈折率分布はフォトリフラクティブ結晶の結晶方位と、干渉縞の波数ベクトル ( $\rightarrow K_{\alpha} = \rightarrow K_P - \rightarrow K_{\alpha}$ ) 依存し、 $\Delta n = - (n^3/2) r \rightarrow E_{sc}$  として記録される [ $\rightarrow R \cdot \rightarrow S$  は、ベクトル  $\rightarrow R$  と  $\rightarrow S$  のスカラー積、 $n$ 、 $\Delta n$  は屈折率とその変化量で  $3 \times 3$  の行列、 $r$  は一次の電気光学定数(ポッケルス定数)で3階のテンソル、 $\rightarrow E_{sc}$  は空間電場ベクトル ( $\rightarrow K_{\alpha}$  に平行) であり、その振幅

$$\vec{H} = C_{\text{eff}} \int \int \int [\vec{F}_{\alpha} (\vec{F}_{\alpha}^* \cdot \vec{P}) + \vec{F}_{\beta} (\vec{F}_{\alpha} \cdot \vec{P}^*)] dx dy dz \quad (3)$$

【0016】に比例する回折光 ( $\rightarrow H$ ) が発生する。

【0017】ここで、ファイバからの出射光と干渉させる光 ( $\rightarrow P$ ) について、次の二種類の場合を考える。

【0018】(1)  $\rightarrow P$  が  $xy$  面内で一様である、即ち※

$$\vec{H} = C_{\text{eff}} \int \int [\int \int \vec{F}_{\alpha} \cdot \vec{F}_{\alpha}^* dx dy \vec{P} + \int \int \vec{F}_{\beta} \cdot \vec{F}_{\alpha} dx dy \vec{P}^*] dz \quad (4)$$

【0020】と書ける (oはベクトルの直積を表す) ので、 $F_{\alpha m}$  と  $F_{\beta n}$  の直交性より、 $\alpha \neq \beta$  の時、上記積分 (4) 式は0となり光は回折されず、記録時に使用したモード ( $\alpha$ ) の光のみ回折し、 $\rightarrow P$  に比例する光が発生する。 $xy$  平面内で一様な光  $\rightarrow P$  とは、ファイバの軸 ( $z$  軸) に平行な  $+z$  もしくは、 $-z$  方向へ進む平面波であるが、 $+z$  方向への平面波はファイバからの出射光と重なり分離が難しいので、 $-z$  方向へ進む光を用いる (図3)。図3は上記第1の方法によるモード分離器とP光の進行方向の関係を示す図であり、問題を解決する手段の一節で、モードが分離して回折される為の  $\rightarrow P$  ★

$$\vec{H} = D_{\text{eff}} \int \int (\vec{F}_{\alpha} \cdot \vec{F}_{\alpha}^* \vec{P} + \vec{F}_{\beta} \cdot \vec{F}_{\alpha} \vec{P}^*) dx dy \quad (5)$$

【0023】と書ける。ここで、 $\rightarrow F_{\alpha}$ 、 $\rightarrow F_{\beta}$  は、ファイバの導波モードからの出射光なので、 $\rightarrow F_{\alpha} \cdot \rightarrow F_{\beta}$  の  $xy$  面内に於ける各成分の空間周波数はせいぜい  $(4\pi n/\lambda) \sin \theta_{\max}$  程度であるのに対し、 $\rightarrow P$  の  $xy$  平面内の空間周波数は、 $2\pi n/\lambda$  となる。ここで、 $\lambda$  は導波光の真空中の波長、 $\theta_{\max}$  はファイバのカットオフ角で、ファイバのコアとクラッドの屈折率をそれぞれ  $n_0$ 、 $n_1$  とすると、 $\sin \theta_{\max} \sim (2(n_0 - n_1)/n_0)^{1/2}$  で与えられ、比屈折率差 ( $\Delta n = n_0 - n_1/n_0$ ) が、0.1% のマルチモードファイバの場合、 $2 \sin \theta_{\max} \sim 0.09$  であり、 $\rightarrow P$  の空間周波数に

\* ( $|\rightarrow E_{sc}|$ ) は  $|\rightarrow K_{\alpha}|$  と材料特性に依存する]。

【0011】さて、記録された屈折率変調分布によるマルチモードファイバからの光の回折を考える。屈折率変調 ( $\Delta n$ ) は、

【0012】

【数2】

$$\Delta n = - \frac{n^3}{2} r \rightarrow E_{sc} \quad (1)$$

$$= C_{\text{eff}} (\vec{F}_{\alpha}^* \cdot \vec{P} + \vec{F}_{\alpha} \cdot \vec{P}^*) \quad (2)$$

【0013】で与えられる。ここで、 $y_{\text{eff}}$  は、 $r$  と  $\rightarrow E_{sc}$  の方向、及び、回折される光の偏光方向によって決定される実効的な電気光学定数、 $C$  は比例定数である。

【0014】ファイバ端面からの出射光 ( $\rightarrow F_{\beta} + \rightarrow F_{\beta}^*$ ) が、上記 (2) 式の  $\Delta n$  による変調を受けると、

【0015】

【数3】

※  $\rightarrow P$  が  $x$ 、 $y$  の関数でない場合、上記積分 (3) 式は、

【0019】

【数4】

★光の条件として上記にあげた方法での配置図である。P光は、平面波で、かつ直線偏光しておりファイバに対向して進む。ファイバとモード分離器 (3-1) の間にハーフミラー (3-2) をおき、回折光を分岐する。

【0021】(2)  $\rightarrow P$  が  $z$  方向に一様、即ち、 $\rightarrow K_P$  が  $z$  軸に垂直な場合、 $F_{\alpha m}$  と  $F_{\beta n}$  の直交性が任意の  $z$  で満たされるので、(3) 式の積分は  $D$  を比例定数として、

【0022】

【数5】

比べて一桁以上小さい。この場合、(5) 式は、

【0024】

【数6】

$$\vec{H} \sim D_{\text{eff}} \frac{1}{|K_P|} (\langle \vec{F}_{\beta} | \vec{F}_{\alpha} \rangle \vec{P} + \langle \vec{F}_{\beta}^* | \vec{F}_{\alpha}^* \rangle \vec{P}^*) \quad (6)$$

【0025】と近似でき、結局、(1) の場合と同様に記録時に使用したモード ( $\alpha$ ) の光のみ回折し、 $\rightarrow P$  に比例する光が発生する (図4)。図4は第2の方法によるモード分離器とP光の進行方向の関係を示し、問題を解決する手段の一節で、モードが分離して回折される為の  $\rightarrow P$  光の条件として第二にあげた方法での配置図であ

る。P光は、平面波で、かつ直線偏光しておりファイバ軸に垂直方向に進む。P光の電場の振動方向はz軸に垂直で、xy面内にある。ただし、図中、4-1はモード分離器である。

【0026】次に、特定のモード( $\alpha$ )からの出射光のみと光( $\rightarrow P$ )を干渉させ、その干渉縞を屈折率分布としてフォトリフラクティブ材料中に記録する方法の原理を述べる。ファイバ中を伝搬するモードは、それぞれ固有の光の伝搬速度( $v_\alpha$ )を持ち、高次のモード程、伝搬速度が遅い(図5: Amnon Yariv著“OP\*10

$$d_i < L_m c | (1/v_\alpha) - (1/v_\beta) | \quad (7)$$

【0028】満たすように、十分長く取る。同時に、同じレーザ(6-1)から発した光( $\rightarrow P$ )は、鏡を使って空間中を通るか、もしくはシングルモードファイバ(6-9)を通して遅延させ、マルチモードファイバ(6-6)を通ったモード( $\alpha$ )と干渉できる様にする。これは、使用するマルチモードファイバ(6-6)のモードごとの遅延時間を計算して $\rightarrow P$ 光の伝搬距離を決定しても良いし、レーザから短パルスが発生し、マルチモードファイバを通る光をモードごとにパルスとして分離し、所定のモードからのパルスが $\rightarrow P$ 光と同時にフォトリフラクティブ材料に到達するように実験的に決定しても良い。

【0029】 $\rightarrow P$ 光は、レンズ等を用いて(1)の形式の場合には $-z$ 方向に進行する平面波としてフォトリフラクティブ材料に入射させるが、(7)式を満たす限り所望のモード( $\alpha$ )以外とは干渉縞を生じないので、

(2)式の如く屈折率分布が形成される。この場合、回折光はファイバに向かって進行するので、マルチモードファイバとフォトリフラクティブ材料の間にハーフミラー等を挿入し、回折光を受光素子に導入する必要がある。(2)の形式の場合も $\rightarrow P$ 光は平面波に加工しておく必要がある。この場合、 $\rightarrow P$ 、 $\rightarrow K$ 共にz軸に垂直なければならない。所望のモード( $\alpha$ )以外とは干渉しないのは(1)の形式と同様である。

【0030】ここで、複数の $\rightarrow P$ 光、 $\{\rightarrow P_\alpha, \rightarrow P_\beta, \rightarrow P_\gamma, \dots\}$ を用意し、それぞれ、 $\{\rightarrow F_\alpha, \rightarrow F_\beta, \rightarrow F_\gamma, \dots\}$ と可干渉であるように遅延時間を設定し、進行方向をそれぞれ異なる様にとすると、複数のモード $\{\alpha, \beta, \gamma, \dots\}$ がそれぞれ異なる方向に回折され、請求項2の実施が可能となる。

【0031】なお、フォトリフラクティブ材料は、上記で説明したように光の干渉縞を屈折率変調分布に変換して記憶するという作用があるが、マルチモードからの光のみを照射し続けると記憶された屈折率変調分布が消えてしまうと言う欠点がある。この欠点を補うのが、“定着”操作である。フォトリフラクティブ材料における屈折率変調分布は、光励起による電子の再配列に由来するものであるが、電子の分布をプロトン等のイオン分布に変換するか、強誘電性分極反転分布に変換し、屈折率変

\*tical Electronics, fourth ed.,” Saunders College Publishing, ISBN 0-03-047444-2, page 93の引用で、校正ミスを正したもの)。従って、屈折率分布を作るためのレーザの可干渉距離を $d_i$ として、記録したいモード( $\alpha$ )と最も伝搬速度の近いモードの伝搬速度を $v_\beta$ として、図6に示すマルチモードファイバ(6-6)の長さ( $L_m$ )を、  
【0027】

調分布を消えないようにするのが“定着”であり、ニオブ酸リチウム( $\text{LiNbO}_3$ )ニオブ酸タンタル酸カリウム( $\text{KTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$ )、ニオブ酸ストロンチウムバリウム( $\text{Sr}_x\text{Ba}_{1-x}\text{Nb}_2\text{O}_6$ )、タンタル酸リチウム( $\text{LiTaO}_3$ )、チタン酸バリウム( $\text{BaTiO}_3$ )で報告されている。これらの材料の使用により、本発明におけるマルチモード光導波路用モード分離器の使用寿命が延伸される。

20 【0032】

【実施例】まず、図6を用いて、作製法を説明する。具体例として、比屈折率差( $\Delta_0$ )が0.05%、コア径(2a)が $32\mu\text{m}$ 、コアの屈折率( $n_0$ )が1.40のファイバ(6-6)と、波長 $830\text{nm}$ の半導体レーザ(6-1)の出射光を用いて通信する場合について述べる。マルチモード光導波路用モード分離器(6-20)の材質としては、請求項4に挙げた材料のうち、ニオブ酸ストロンチウムバリウム( $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.35}\text{Nb}_2\text{O}_6$ )にクロム(Cr)を0.02wt%ドープしたものをを用いる例をあげる。 $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.35}\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{Cr}$ は赤から赤外にかけての波長でフォトリフラクティブ効果の感度があり、波長 $830\text{nm}$ での使用に適している。

30 【0033】このファイバは、波長 $830\text{nm}$ において、規格化周波数( $V \sim 2\pi a n_0 / \lambda (2\Delta_0)^{1/2}$ )は約5.36であり、 $LP_{01}$ 、 $LP_{11}$ 、 $LP_{21}$ 、 $LP_{02}$ 、 $LP_{31}$ の各モードが存在するが(ここで、 $\Delta_0$ が小さいのでファイバ中のモードをLPモードで近似するのは良い近似である)、これらのうち、 $LP_{01}$ 、 $LP_{11}$ の二つのモードのみ取り出し、それぞれ異なる方向に回折させる方法を述べる。

【0034】図5から、 $LP_{01}$ の規格化伝搬定数( $b$ )は0.85、 $LP_{11}$ のそれは0.62、次に大きいのは、 $LP_{21}$ の0.33であり、実際の伝搬速度( $v$ )の表式、

$$v = c / n_0 [1 + \Delta_0 (b - 1)] \quad (8)$$

【0036】に従って、

40 【0037】

$$c \mid (1/v_{01}) - (1/v_{11}) \mid = 1.61 \times 10^{-4} \quad (9)$$

【0038】

$$c \mid (1/v_{11}) - (1/v_{21}) \mid = 2.03 \times 10^{-4} \quad (10)$$

【0039】から、式(7)を用いて、 $d_i < 1.61 \times 10^{-4} L_\square$ 側を満たすように $d_i$ 、 $L_\square$ を設定する。ここで、半導体レーザの可干渉距離を高周波重畳によって短くし、 $d_i \sim 1\text{mm}$ 程度にしておけば、 $L_\square > 6.2\text{m}$ であれば、所望のモードを独立に干渉させることが出来る。ここでは、安全を見越して、 $L_\square = 10\text{m}$ とする。

【0040】マルチモード光導波路用モード分離器本体(6-20)である $\text{Sr}_{0.75}\text{Ba}_{0.35}\text{Nb}_2\text{O}_6:\text{Cr}$ (以後、 $\text{SBN}:\text{Cr}$ と略記)は、 $1\text{mm} \times 1\text{mm} \times 1\text{mm}$ の直方体とし、結晶の $c$ 面がファイバに向くように設置する。 $\text{SBN}:\text{Cr}$ の各面は光学研磨し、表面に無反射コートをする。ファイバ(6-6)端面と $\text{SBN}:\text{Cr}$ の間隔は、 $0.2\text{mm}$ とする。定着処理のために $\text{SBN}:\text{Cr}$ の温度を摂氏40度まであげられるように、遠赤外線ランプ(6-19)を用意する。

【0041】レーザ光はレンズ(6-2)でコリメートされた後、偏光ビームスプリッター(6-4)を用いて2光束に分け、それぞれマルチモードファイバ(6-6)とシングルモードファイバ(長さ9.9m)(6-9)に結合させる。ここで、半波長板(6-3)は2光束の強度比を調整するために設ける。シングルモードファイバを出射した光はレンズ(6-10)によって平行光にしたあと、さらに半波長板(6-11)と偏光ビームスプリッター(6-12)を用いて2光束( $\rightarrow P_1$ ,  $\rightarrow P_2$ )に分け、それぞれ遅延のためのミラーセット(6-13, 6-18)を経由し(尚、 $\rightarrow P_2$ については半波長板によって偏光面を回転させ、 $\rightarrow P_1$ ,  $\rightarrow P_2$ 共に電場の振動方向が $z$ 軸に垂直になるようにしておく)、 $\text{SBN}:\text{Cr}$ (6-20)に $z$ 軸に垂直に対向入射させる。遅延の為のミラーセット(6-13, 6-18)は $\rightarrow P_1$ は $L_{P01}$ と、 $\rightarrow P_2$ は $L_{P11}$ とそれぞれ干渉できるように微調整する。屈折率変調分布作製時には、遠赤外線ランプ(6-19)を $\text{SBN}:\text{Cr}$ (6-20)に照射して、温度を40℃に保持する。温度を上げるのは、電荷分布を分極反転分布に変換して、“定着”を実施するためである。半導体レーザとして出力20mWのものをを用いる場合、約30分間の干渉させ続ける時間が必要であるので、系の振動を抑えるため、すべての光学系は除振台の上に配置される。

【0042】図1は本発明の効果を最も良く示す図で、本発明のモード分離器を用いた光通信を説明するものであり、レーザ(1-1)から強度変調された光(1-9)が、レンズ(1-2)を介してマルチモードファイバ(1-3)に結合される。ファイバの距離が長く、信号変調が高速である場合、ファイバからの出力信号はモードの重なりのために(1-10)の様につぶれてしまう。一方、本発明のモード分離器(1-4)を用いる

と、 $L_{P01}$ モードは図中上方へ、 $L_{P11}$ モードは図中下方へ平面波として回折される為に、それぞれ、レンズ(1-5, 1-7)及び、フォトディテクター(1-6, 1-8)を用いて、二つのモードを(1-11, 1-12)の如く分離して受光できる。

【0043】上述のように作製されたマルチモード光導波路用モード分離器(1-4)は、 $L_{P01}$ と $L_{P11}$ の光を、それぞれ1%程度の効率で180°異なる方向に回折する。それぞれ、レンズ(1-5, 1-7)を用いてフォトディテクター(1-6, 1-8)上に集光する。マルチモード光ファイバ(1-3)への入力信号を(1-9)の如く模式すると、ファイバからの出力信号は各モードの重なりによって、(1-10)の様に信号がつぶれてしまうが、モード分離器(1-4)が、 $L_{P01}$ の光をフォトディテクター(1-6)へ、 $L_{P11}$ の光をフォトディテクター(1-8)へ導くために、信号はそれぞれ、順に(1-11)と(1-12)の様に入力信号が再生される。長さ1kmのマルチモードファイバに適用する場合、モード分離器がない場合の $L_{P01}$ モードと $L_{P11}$ モードの伝搬速度差に由来する制限(二つのモードの到達時間差は2ns)から、ビットレートはせいぜい100Mbpsであったものが、モード分離器を付加することにより、シングルモードファイバと同程度の数10Gbps~100Gbpsで使用可能となる。

【0044】上記実施例で用いたニオブ酸ストロンチウムバリウムに代わってニオブ酸リチウム、ニオブ酸タンタル酸カリウム、タンタル酸リチウム、チタン酸バリウムを用いても同様の結果を得た。

【0045】

【発明の効果】以上で説明したように、本発明によって、マルチモードを導波してきた光の中から所望のモードを取り出すことが出来るので、安価で接続の容易なマルチモードファイバを用いてもシングルモードファイバと同等の通信速度を得られるという効果がある(請求項1)。マルチモードファイバ中の各モードの強度比は、温度や曲げ等の環境に依存するが、複数のモードを別々の方向に取り出すことで、その中の最強の強度を持つモードを選択することにより環境の変化にも耐えられる(請求項2)。これらの効果を請求項)の材料を用いることにより実施することができ、請求項4の“定着”操作可能な材料を選ぶことで本発明品の使用寿命を延ばすことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のモード分離器を用いた光通信を説明する図。

【図2】マルチモードファイバを伝搬し出射する各モードの模式図と座標軸の説明図。

【図3】第1の方法によるモード分離器とP光の進行方向の関係を示す配置図。

【図4】第2の方法によるモード分離器とP光の進行方向の関係を示す配置図。

【図5】比屈折率差( $\Delta_0$ )が小さく、直線偏光(LP)モード近似が妥当なマルチモード光ファイバに於ける、規格化周波数と規格化伝搬定数の関係を示す図。

【図6】本発明のモード分離器を作製する方法を説明する図。

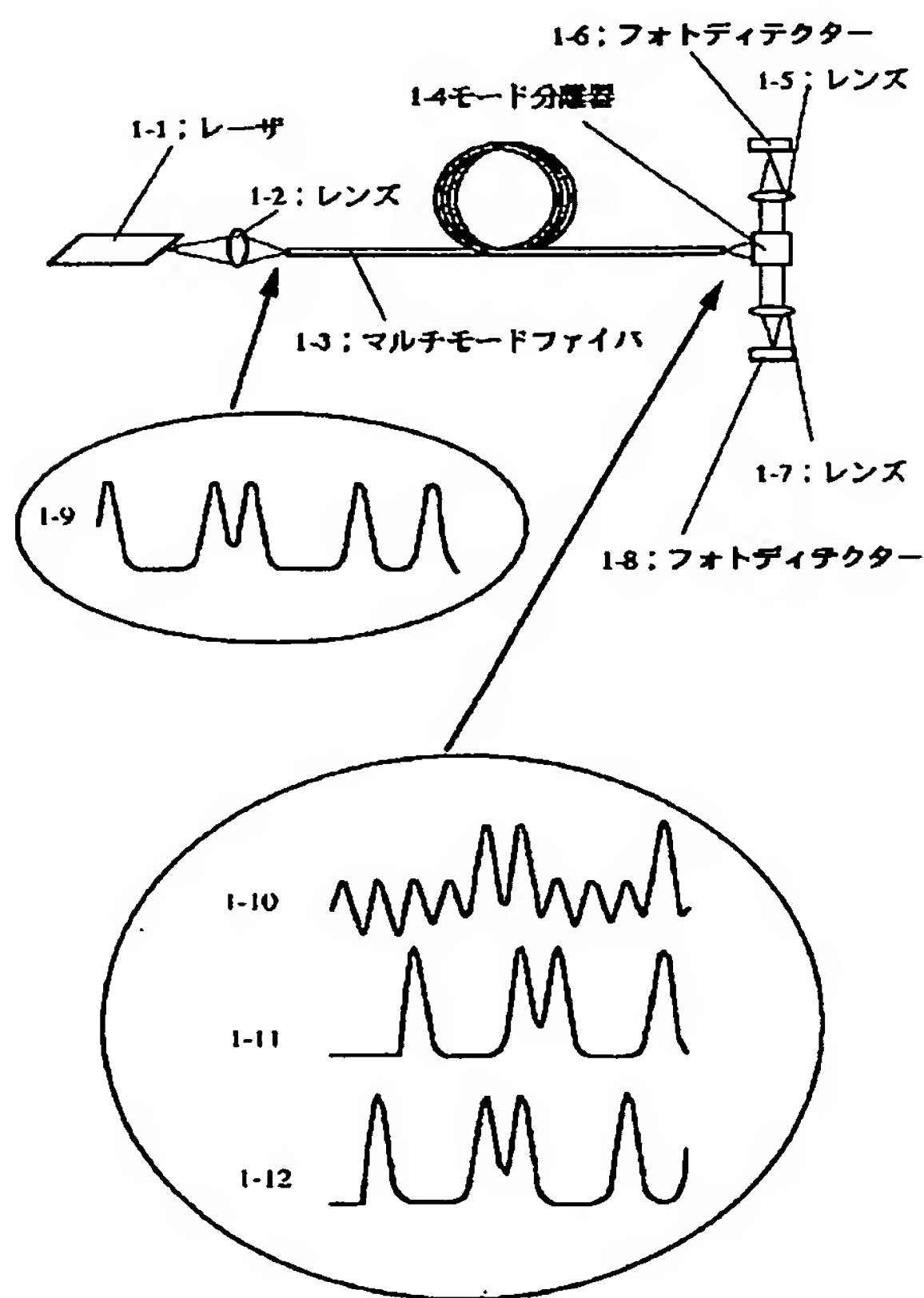
【符号の説明】

- 1-1 レーザ  
1-2 レンズ  
1-3 マルチモードファイバ  
1-4 モード分離器  
1-5 レンズ  
1-6 フォトディテクター  
1-7 レンズ  
1-8 フォトディテクター  
6-1 レーザ

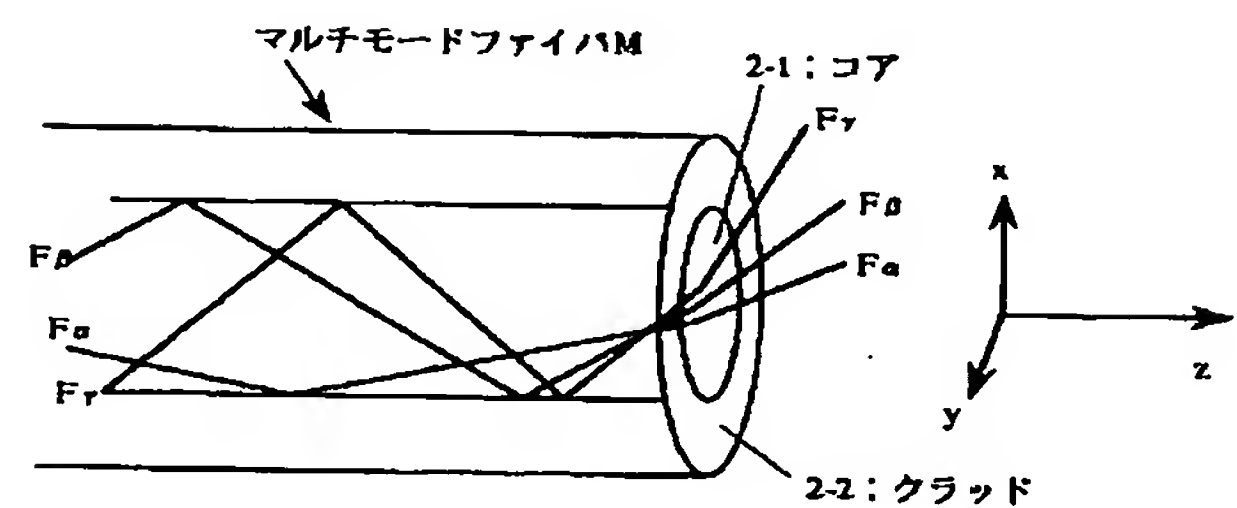
10

- 6-2 レンズ  
6-5 レンズ  
6-8 レンズ  
6-10 レンズ  
6-3 半波長板  
6-11 半波長板  
6-15 半波長板  
6-4 偏光ビームスプリッター  
6-12 偏光ビームスプリッター  
6-7 ミラー  
6-14 ミラー  
6-16 ミラー  
6-17 ミラー  
6-6 マルチモード光ファイバ  
6-9 シングルモード光ファイバ  
6-13 光路長調整用ミラーセット  
6-14 光路長調整用ミラーセット  
6-19 遠赤外線ランプ  
6-20 本発明によるモード分離器本体

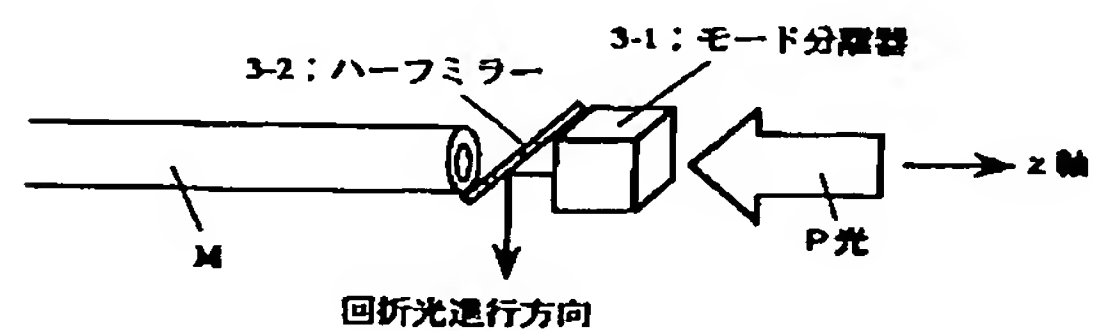
【図1】



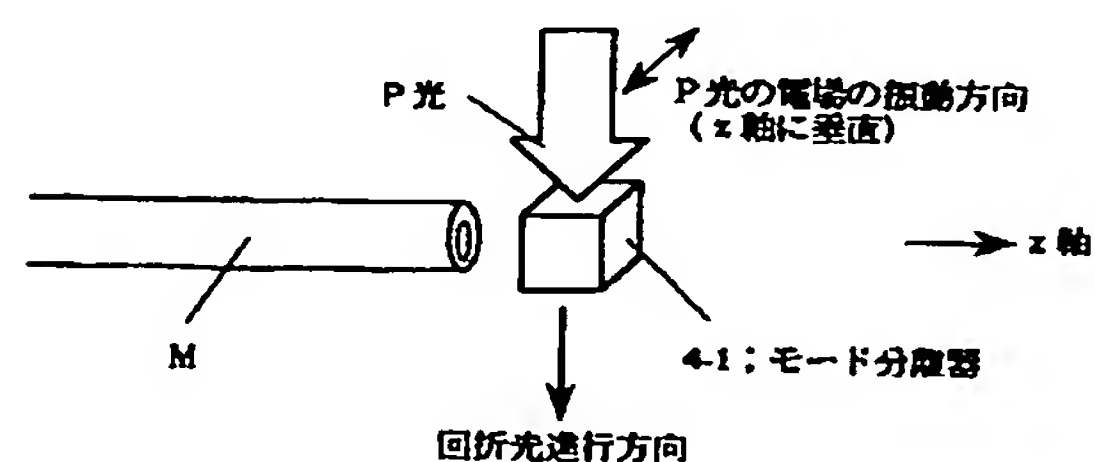
【図2】



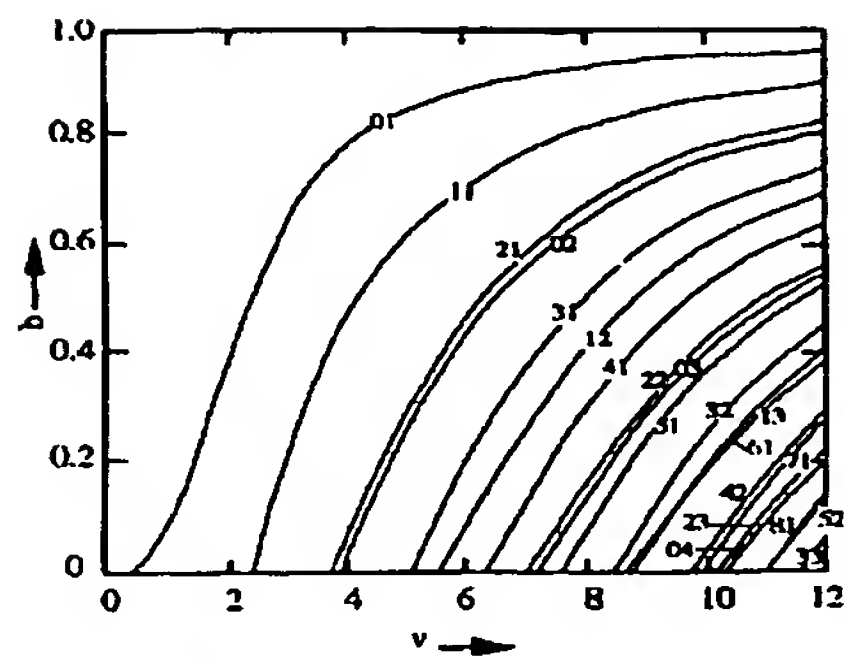
【図3】



【図4】



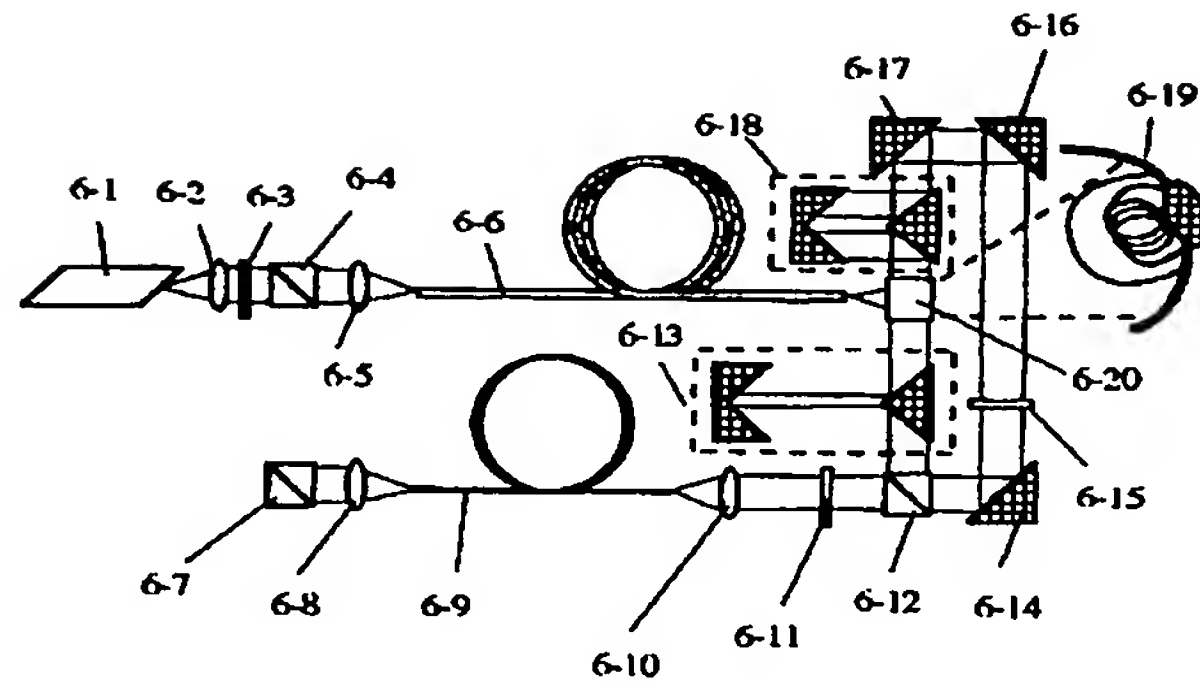
【図5】



$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} (n_0^2 - n_1^2)^{1/2}$$

$$b = (\beta / k_0 - n_1) / (n_0 - n_1)$$

【図6】



- 6-1、6-2、6-5、6-8、6-10；レーザー
- 6-2、6-5、6-8、6-10；レンズ
- 6-3、6-11、6-15；半波長板
- 6-4、6-12；偏光ビームスプリッター
- 6-7、6-14、6-16、6-17；ミラー
- 6-6；マルチモード光ファイバ
- 6-9；シングルモード光ファイバ
- 6-13、6-14；光路長調整用ミラーセット
- 6-19；遠赤外線ランプ
- 6-20；モード分離器本体